

ФИЗИКА И БИОЛОГИЯ

УДК 541.2:543.3:546.79:546.212.02

Бердышев Г. Д.

ИЗОТОПИКА ВОДЫ: ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ, НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ*Киевский Национальный университет им. Т. Г. Шевченко.**Украина, Киев-33, 01033, ул. Владимирская, 64**e-mail: berd@biochem.kiev.ua; tel: 044-424-07-61*

Обзорно-проблемная статья об основных вопросах аквабиотики и ее раздела изотопики воды, разрабатываемых автором. Рассмотрены методы количественного определения и удаления из питьевой воды вредных изотопов водорода и кислорода. Если вода с их присутствием снижает скорость биохимических реакций, ускоряет старение и смерть организмов, то вода с пониженным их содержанием оказывает выраженный лечебно-профилактический эффект.

Ключевые слова: дейтерий, тритий, вода, повреждающее действие, терапевтический эффект.

Введение

Вода — самое распространенное вещество на Земле: $\frac{3}{4}$ поверхности планеты покрыто морями, океанами, реками, ледниками. Кроме того, вода в больших количествах содержится в земной коре, образуя подземные озера и пропитывая водоносные слои пород. Общее содержание воды на Земле составляет примерно 1500 млн. км³ ($1,45 \cdot 10^{18}$ м³) [17].

Вода состоит из самых распространенных атомов в нашем мире — из водорода и кислорода, причем самым распространенным атомом во Вселенной является водород.

Солнце состоит в основном из водорода, содержит немного гелия, углерода и кислорода. Вся Вселенная на 98% состоит из водорода.

Возникновение мира начинается с концентрации межзвездной воды (H,OH) с образованием из нее гигантских мазеров — протозвезд. Уплотняясь и сжимаясь, сжигая водород, протозвезды постоянно превращаются в звезды и планеты. Действительно, по Фалесу Милетскому, все начинается с воды.

Вода — самое загадочное вещество на свете. Она не подчиняется никаким законам физики и химии, обладает, как говорят ученые, аномальными свойствами [12, 16]. По законам химии она должна кипеть при температуре — 76 °С, и замерзать при температуре — 90 °С. Но мы знаем, что вода замерзает при 0 °С, а кипит при 100 °С.

Созданная нами аквабиотика (наука о роли воды в жизненных процессах) имеет раздел изотопику, рассматривающий изотопы водорода и кислорода воды [1]. Данная статья рассматривает некоторые методические аспекты изотопики воды, в частности, фракционирование изотопов водорода воды и методы количественного их определения [10, 13, 18, 19].

1. Изотопы водорода и кислорода воды

Водород воды имеет три изотопа: протий ^1H (протон + электрон), дейтерий ^2H или D (протон + нейтрон + электрон), тритий ^3H или T (протон + два нейтрона + электрон), с массовыми числами соответственно 1, 2 и 3. Протий и дейтерий — стабильные изотопы. Тритий — бета радиоактивен, период полураспада равен 12,26 года. Атомы H бывают разной степени возбуждения.

Кроме водорода, изотопы обнаружены и у кислорода, причем целых пять, помимо всем известного стабильного изотопа O^{16} (с молекулярным весом 16). Три из них оказались радиоактивными — O^{14} , O^{15} и O^{19} , а O^{17} и O^{18} — стабильными. O^{16} , O^{17} и O^{18} содержатся во всех природных водах, причем их соотношение (с колебаниями до 1%) таково: на 10000 частей O^{16} приходится 4 части O^{17} и 20 частей O^{18} .

По физическим свойствам тяжелоокислородная вода меньше отличается от обычной, чем тяжеловодородная. Получают ее в основном из природной воды фракционной перегонкой и

используют как источник препаратов с меченым кислородом.

Таким образом, учитывая все разнообразие изотопного состава водорода и кислорода, можно говорить о большом разнообразии изотопных разновидностей воды. Девять из них включают только стабильные изотопы и составляют основное содержание природной воды. В ней преобладает обычная вода $\text{H}^1_2\text{O}^{16}$ (99,73%), далее следует тяжелоокислородные воды $\text{H}^1_2\text{O}^{17}$ (0,04%) и $\text{H}^1_2\text{O}^{18}$ (0,2%), а также изотопная разновидность тяжелой воды $\text{H}^1\text{D}^1\text{O}^{16}$ (0,03%). В дальнейшем, говоря о воде и называя ее общеизвестную формулу H_2O , мы будем иметь в виду, что состав ее многообразен, но основной компонент $\text{H}^1_2\text{O}^{16}$.

O_2 в человеке 60%, но по количеству атомов все живые существа на 2/3 состоят из атомов водорода и на 1/4 из атомов кислорода. Изотопное отношение: $\text{H}^1:\text{D} = 1:4700$ в материковых водах, $\text{H}^1:\text{D} = 1:6800$ атомов в морской воде. То есть концентрация в материковых водах $\text{D} = 0,0135$ ат.% или 0,015 вес%, в морской воде $\text{D} = 0,015$ ат.% или 0,017 вес%. В природной воде содержание трития ничтожно — всего 10^{-18} атомных процента. И тем не менее он есть и в питьевой воде.

В зависимости от видов и содержания изотопов водорода (H, D, T) и кислорода (O^{14} , O^{15} , O^{16} , O^{17} , O^{18} , O^{19}), от степени чистоты и загрязнения исследователи выделяют свыше тысячи разновидностей питьевой воды.

Поскольку Вселенная в основном состоит из атомов водорода, космические ядра водорода протоны, пронизывая атмосферу, захватывают O_2 , образуют H_2O . В этой воде много трития и дейтерия. Каждые сутки на Землю падает 1,5 тонны тритировано-дейтерированной воды. Таким образом основным источником природного трития, дейтерия и радиоактивных кислорода является атмосфера. В таблице 1 приведены некоторые реакции образования T и O^{14} в атмосфере под действием космических лучей.

Таблица 1. Реакции образования в атмосфере трития космическими лучами

Реакции	Энергия частиц, МэВ	Сечение реакции, мбарн	Скорость образования, Атом/см ² · с
$\text{N}^{14}(\text{n}, \text{H}^3)\text{C}^{12}$	> 4,4	11 ± 2	0,1 — 0,2
$\text{O}^{16}(\text{p}, \text{H}^3)\text{O}^{14}$	10 — 100	25	0,08
$\text{N}^{14}(\text{p}, \text{H}^3)\text{N}^{12}$			
$\text{O}^{16}(\text{p}, \text{H}^3)\text{O}^{14}$			
$\text{N}^{14}(\text{p}, \text{H}^3)\text{N}^{12}$	< 10		0,05
$\text{N}^{14}(\text{p}, \text{H}^3)\text{N}^{12}$			
$\text{N}, \text{O}(\gamma, \text{H}^3)$	-		10^{-5}

99% трития содержится в виде НТО¹⁶. O^{18} открыт Джоком и Джонстоном в 1929 г. Относительно O^{16} — его всего 0,003% [19].

2. Медико-биологическое действие воды с разным изотопным составом

Вода, обогащенная дейтерием, тритием, тяжелыми и радиоактивными изотопами кислорода вредна для всего живого, особенно для человека. Об этом свидетельствуют наши собственные [2, 5] и литературные [8, 11, 13] данные, обобщенные в таблице 2.

Приведем итоговую таблицу о повреждающем действии тяжелой воды (таблица 2).

Таблица 2. Биологические эффекты D_2O

1	Снижение скорости биохимических реакций, тканевого дыхания
2	Повышение вязкости протоплазмы клеток, скорости старения организма
3	Индукция мутаций, повреждение генофонда, рак, другие болезни
4	Торможение деления клеток, снижение роста
5	Гибель высших позвоночных

Благоприятствует жизни то обстоятельство, что 97% массы воды представлены легкими и стабильными изотопами H и O.

Еще сорок лет назад мой учитель врач и священник В. И. Стреляев выдвинул концепцию спасения человечества от болезней, рака, старения, родовой гибели путем снижения кон-

центрации тяжелых и радиоактивных изотопов кислорода и водорода в питьевой воде [21].

Современная теория целебной питьевой воды требует полного удаления или существенного снижения концентрации тяжелых и радиоактивных изотопов водорода и кислорода из воды, являющейся основой жизни [4, 5].

В. И. Стреляев провел следующий расчет. В тонне речной воды содержится 150 г тяжелой воды (D_2O). За 70 лет потребления 3 л питьевой воды в день через организм человека пройдет около 80 тонн воды, содержащей 1,2 кг дейтерия и значительное количество коррелирующих с ним радиоактивных изотопов водорода и кислорода.

Такое значительное количество тяжелых и радиоактивных изотопов водорода и кислорода воды, являющейся матрицей жизни, уже к наступлению половой зрелости человека повреждает его гены, вызывает различные болезни, рак, инициирует старение организма.

Массивное повреждение генофонда радиоактивными и тяжелыми изотопами водорода и кислорода воды обуславливает вымирание видов растений, животных и человека. По расчетам В. И. Стреляева, виду *Homo Sapiens* также грозит вымирание, если он не перейдет на употребление воды, обедненной радиоактивными и тяжелыми изотопами O_2 и H [21].

Данная концепция В. И. Стреляева заставила его научного руководителя ректора Томского медицинского института академика И. В. Торопцева обратиться к ядерным физикам создаваемого в Томске-7 атомного объединения «Сибирский химический комбинат» (г. Северск) с предложением начать исследование медико-биологического действия тяжелой и легкой воды. Тяжелую и легкую воду обеспечивал томский ядерный физик профессор Б. Н. Родимов. В работе первого в мире коллектива ученых, изучавшего в сравнительном аспекте действие тяжелой и легкой воды на человека и различные биологические объекты, принимал участие автор статьи, в то время студент и аспирант кафедры, руководимой академиком И. В. Торопцевым.

Под руководством ректора И. В. Торопцева и профессора Б. Н. Родимова впервые в науке были начаты обширные исследования по изучению медико-биологического действия тяжелой (дейтерированной), радиоактивной (тритированной) воды и воды с пониженным содержанием дейтерия. Если дейтерированную и тритиеваную воду получали в Томском ядерном центре (Томск-7, Северск), то воду с пониженным содержанием дейтерия и трития изготавливали из якутского реликтового льда, а затем из чистого сибирского снега на широте Томска (недалеко от полярного круга). Снег в высоких широтах содержит меньше дейтерия и трития, чем осадки вблизи экватора.

Талая вода готовилась следующим образом. Свежевыпавший сибирский снег сгребали, наполняли емкость, таяние снега производили не до конца. Четвертую оставшуюся часть (25%) выбрасывали, предполагая, что с этой частью уйдет 25% дейтерия. В действительности же понижения дейтерия было где-то около 5% не более. И тем не менее эта талая вода оказывала на все живое, используемое в экспериментах, исключительно благоприятное положительное влияние, о чем красноречиво свидетельствуют полученные медиками и биологами данные.

Томские ученые в 1958–1961 годах в лице Б. Н. Родимова, И. Н. Торопцева и Г. Д. Бердышева подтвердили концепцию о губительном действии тяжелой и радиоактивной (тритиевой) воды и о благотворном стимулирующем эффекте воды с пониженным содержанием дейтерия и трития, проведя ряд впечатляющих экспериментов на клетках растений, животных и на человеке. В опытах с культурами разных клеток, в том числе тканей печени, фибробластов куриных зародышей, в экспериментах на мышах, с курами, со свиньями, а также с пшеницей и овощами, — везде был зафиксирован повреждающий эффект тяжелой и тритированной воды и исключительно высокий положительный эффект воды с пониженным содержанием вредных изотопов водорода и изотопа.

Половая активность мышей, например, повысилась, а у самок было ярко выражено многоплодие, новорожденные мышата весили на 20% больше своих собратьев, родители которых пили обычную воду. От кур, которых поили талой водой, за три с половиной месяца было получено в 2 раза больше яиц. Урожайность пшеницы возросла на 56%, а огурцов и редиса на 250% [14, 15].

Двадцать пять больных разного возраста в течение трех месяцев для питья и приготовления пищи применяли только полученную нами талую воду. Результаты превзошли все ожидания: у всех улучшилось общее состояние здоровья, снизилось количество холестерина в крови, улучшился обмен веществ. И это все за три месяца.

Вода с пониженным содержанием дейтерия, как показывают литературные и главным образом наши собственные данные [1, 2, 4, 5, 13–15, 21], благоприятно действует на различные

биологические системы (таблица 3).

О стимулирующих эффектах легкой воды свидетельствует таблица 3.

Таблица 3. Действие протиевой воды на биологические объекты

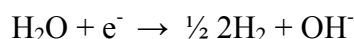
1	Оптимизация скорости биологических реакций
2	Стимуляция деления клеток, роста организмов
3	Омоложение клеток и организмов
4	Радиопротекторное действие
5	Антимутагенные эффекты
6	Лечебно-профилактическое, антираковое действие

В настоящее время доказано, что раньше, когда Земля была намного моложе, другим был химический состав ее воды. Содержания дейтерия и трития в ювенильных водах Земли было незначительным — вода была «живой», то есть легкой (мы называли такую воду «реликтовой») [4]. В ней не было не только космических загрязнений, но и земных. В результате в мезозойскую эру, например, на Земле наблюдалось буйство жизни: росли гигантские деревья, бегали огромные динозавры. Все виды живых существ были долгожителями. И сейчас в тех местах Земли и океана, где есть эта древняя (реликтовая) вода, организмы отличаются большими размерами (киты, потребляющие планктон вблизи тающих айсбергов, эвкалипты, ливанские кедры, гигантские лопухи на острове Сахалин и т. д.) и долголетием. Все долгожители всю жизнь пьют талую воду [13], стекающую с гор, обладающую высоким окислительно-восстановительным потенциалом и другими свойствами целебной питьевой воды. На нашей планете осуществляется гигантский испарительно-конденсационный процесс получения протиевой воды и обогащения его туч и облаков. В горах из них на одних склонах проливается преимущественно дейтерированная вода, на других — вода, обогащенная протием. Именно это мы наблюдали на Сахалине, изучая гигантизм некоторых островных растений. Данный процесс объясняет, почему в некоторых регионах Земли осадки содержат мало дейтерия, в других — много. В организме животных изотопный состав воды близок к составу дождевых вод в местах обитания. Для человека существенные коррективы в эту зависимость вносят овощи и фрукты, выращенные в других климато-географических условиях. Так, тропические фрукты, выращенные близко к экватору, имеют более низкие величины D и O¹⁸. Весь D в обычной воде находится в форме HDO, а не D₂O. Этиловый спирт также хороший накопитель дейтерия.

Считают, что гравитационное поле Земли — недостаточно сильно для удержания ¹H, и наша планета постепенно теряет протий в результате его диссоциации в межпланетное пространство. Протий улетучивается быстрее тяжелого D. По мнению некоторых исследователей, в течение геологического времени должно происходить накопление дейтерия в атмосфере и в поверхностных водах.

3. Фракционирование водорода воды

Сам первооткрыватель дейтерия Юри признавал, что наиболее простым методом разделения дейтерия и протия является электролиз воды. Действительно, выделяющийся в ходе электролиза воды газообразный водород содержит несравненно меньше дейтерия, чем исходная вода. Коэффициент однократного разделения здесь не постоянен и сильно зависит от условий эксперимента (температуры электролита, природы катода, плотности тока и т. д.). Иногда коэффициент однократного разделения водорода воды $\alpha = (H/D)$ больше 10. Однако α никогда не бывает меньше 3,5. Среднее значение α 6–8. Хотя в воду при этом добавляют щелочной электролит NaOH или Na₂CO₃, выделение водорода на катоде обусловлено прямым восстановлением воды:



Электролиз стал первым способом производства тяжелой воды [6, 10, 18]. До 1940 г. норвежский завод в Рjukanе был единственным поставщиком тяжелой воды, необходимой в качестве замедлителя нейтронов при изготовлении атомного оружия. Для получения чистой на 99,9% тяжелой воды необходим электролитический каскад из 15 ступеней. Образующееся при этом некоторое количество легкой воды называется остаточным. Остаточный метод получения легкой воды не пригоден для производства питьевой воды, так как эта вода содержит щелочной электролит и ряд других химических загрязнений. Несмотря на это некоторые пытаются ис-

пользовать ее в качестве питьевой воды.

Нами впервые в мире разработаны испарительно-конденсационный и другие (с вымораживанием и т.д.) технологические процессы и построены установки для получения биологически активной воды, обладающей неизвестными ранее уникальными лечебными свойствами реликтовой воды с обновленной памятью и пониженным содержанием дейтерия и других тяжелых изотопов, воды для жизнеобеспечения и оздоровления людей как на Земле, так и в космосе [3, 4].

Технология получения воды и конструкция установок защищены 14 патентами Украины и России. Такой воды сейчас на нашей Земле нет.

Многолетние исследования воды, проведенные девятью институтами Украины, выявили ее высокие медико-биологические свойства. Такая реликтовая вода:

- обладает противораковым действием: замедляет рост опухолей и уменьшает метастазирование;
- улучшает состав крови: повышает гемоглобин и улучшает другие ее показатели;
- оказывает радиозащитное и геропротекторное действие;
- повышает функциональную активность половых клеток;
- оздоравливает иммунную систему теплокровных животных;
- благотворно влияет и сильно стимулирует прорастание семян и развитие сельскохозяйственных растений;
- излечивает болезни привнесенные в организм недоброкачественной питьевой водой, которых, по данным ВОЗ более 80% от всех заболеваний людей Земли.

Перед нами, разработавшими технологию снижения содержания D и T в водопроводной воде, со всей остротой встал вопрос об уровне освобождения воды от этих необходимых «микроразъемов» — D и T. Учитывая универсальное распространение и изначальную первозданность изотопов H и D в воде, в которой, по-видимому, зародилась жизнь, можно предполагать, что для поддержания любых форм белково-нуклеиновой жизни на Земле необходимо присутствие всех известных изотопов воды, в том числе D и T.

На данном этапе решения этой проблемы такой границей снижения D и T мы приняли 50%. Слишком большое снижение D и T в воде может разрушить ее полезную структуру, которая имеет важное регуляторное значение. Только структура ледяной талой воды с пониженным в определенной мере содержанием D и T обеспечивает, как мы полагаем, благоприятную регуляцию жизненных процессов в норме и патологии.

Ключевым моментом в разделении изотопов воды, в частности, водорода, является разработка методов определения их концентрации. Хотя бы кратко остановимся на этом вопросе [9, 18].

Исследованиями многих ученых установлено, что океаническая вода на глубине 500 м и более весьма однородна по изотопному составу. Это обстоятельство дало основание Крейгу в 1961 году предложить ее в качестве стандарта для выражения содержания D и O^{18} в природных водах в относительных единицах. Стандарт океанической воды (СМОВ или SMOW) имеет следующие значения изотопов водорода и кислорода: $D/H = (158 \pm 2) \cdot 10^{16}$ и $O^{18}/O^{16} = (1993,4 + 2,5) \cdot 10^{-6}$. Относительные содержания D и O^{18} (δD и δO^{18}) определяются из выражения: $\delta = (R/R_{SMOW}^{-1}) \cdot 10^{30}$, где R — отношения D/H или O^{18}/O^{16} . Есть и другие формулы расчета δ .

Содержание D и H^1 в воде измеряют разными методами, в частности, на масс-спектрометрах различных марок. При этом используют, кроме стандарта SMOW, другой стандарт Hs.F-1 — полиэтиленовую пленку, в которой водородный изотопный состав всегда постоянен. В ней водорода всегда 98,8+4,3%. Его содержание и изотопный состав не меняется.

Приведем результаты измерения дейтерия в шести образцах воды в нашей лаборатории. Расчеты проводились по формуле:

$$\delta D = (R_{\text{образец}} - R_{\text{стандарт}}) / R_{\text{стандарт}} \cdot 1000\text{‰},$$

где $R_{\text{образец}}$ — исследуемая вода, $R_{\text{стандарт}}$ — стандарт SMOW.

Изотопный состав воды измерен в величинах δD , представляющих относительное отклонение измеряемых изотопных соотношений образца от стандарта SMOW и выражен в промилле (‰). Абсолютное содержание дейтерия в стандарте SMOW 0,015576 ат.‰.

Измерения проведены на модифицированном масс-спектрометре МИ-12018 относительно внутреннего стандарта океанической воды N2195.

В качестве контрольного был использован международный стандарт REF-I (Германия), паспортное значение $\delta D_{SMOW} = -9,8 \pm 4,3\text{‰}$. Водород из воды выделялся ампульным методом ре-

акцией взаимодействия с порошкообразным цинком марки ПЦ-2 при температуре 4 °С в течение 8 часов.

Доверительный интервал единичного измерения δD равен $\pm 6\%$. Доверительный интервал среднего из 3-х измерений равен $\pm 3\%$. Использовалась так называемая «реликтовая» вода, полученная по разработанной в нашей лаборатории технологии многократного замораживания, оттаивания и выбрасывания остаточной сосульки, содержащей повышенное количество дейтерия, трития и других вредных примесей [2]. Кроме этого использовалась вода из специально сконструированных нами установок серии «Надія», описанных в предыдущих работах и наших патентах [3].

Тритий и другие радиоактивные изотопы O_2 рассчитывались по дейтерию методом корреляции.

В таблице 4 показаны результаты измерения содержания масс-спектроскопией дейтерия в водопроводной воде г. Киева, которая служила исходной водой для получения реликтовой воды и воды из «Надії» (1-ая партия проб, вода №№ 1 и 3, а также вода № 1 в 3-ей партии проб). Исследована концентрация дейтерия в реликтовой воде после удаления сосульки и в воде из «Надії» (см. обозначения в пояснительном тексте).

Таблица 4. Результаты определения изотопного состава водорода в двух пробах воды

1-ая партия проб

Изотопный состав водорода относительно SMOW, в ‰					Абсолютное содержание дейтерия, ат. %
№№ проб	1	2	3	Средн.	
1	-79	-80	-83	-81	0.0143000
2	-75	-82	-85	-81	0.0143000
3	-104	-112	-109	-108	0.0139000
Стандарт РЕФ-1	-98	-99	-97	-98	0.0140000

2-я партия проб

Изотопный состав водорода относительно SMOW, в ‰					Абсолютное содержание дейтерия, ат. %
№№ проб	1	2	3	Средн.	
1	-85	-81	-79	-82	0.0143
2	-84	-81	-84	-83	0.0143
3	-74	-73	-74	-74	0.0144
4	-108	-107	-104	-106	0.0139
стандарт РЕФ-1	-96	-95	-102	-97	0.0140

Следует отметить, что с учетом доверительного интервала среднего из трех измерений, равного $\pm 3,5\%$, пробы 1, 2 как первой, так и второй партии значимо не отличаются между собой, однако проба 3 первой партии и проба 4 второй партии значимо отличаются от стандарта.

Результаты таблицы 4 показывают, что избранный нами метод определения содержания дейтерия в воде весьма высокочувствителен, дает правильные показатели дейтерия в речной и водопроводной воде.

В 1-ой партии проб вода № 1 и № 2 — исходная водопроводная вода. Пробы № 3 — вода, полученная после замораживания, оттаивания и удаления сосульки с повышенным содержанием дейтерия. Снижение дейтерия здесь составляет всего 2,8% по сравнению с исходной водопроводной водой. Эту воду мы назвали реликтовой [4].

Во 2-ой партии проб вода № 1 и № 2 — исходная водопроводная, вода № 3 получена по пробной технологии без замораживания, вода № 4 — вода из установки ВИН-7 «Надія». Здесь снижение дейтерия составляет 5,4%, то есть в 1,9 раза выше лабораторного варианта. Вода, полученная по более совершенной технологии из «Надії» с частичным замораживанием в испарителе показывает более заметное снижение дейтерия — до 9–10 процентов [6, 10, 11, 8]. Эта вода обладает более сильным стимулирующим биологическим действием, чем любая другая вода.

В экваториальной части океана, где имеет место интенсивное испарение воды, происходит некоторое обогащение поверхностного слоя тяжелыми изотопами. Но в конечном итоге вся масса испарившейся воды снова возвращается в океан, так что среднее содержание D в океанической воде остается постоянным.

Для многих природных водоемов пределы колебания дейтерия около 150% (в молекулярном водороде атмосферы $D/H = 0,079$ ат.%, в хондритах и лунных породах $D/H = 0,0195$ ат.%). Для кислорода эти пределы составляют 10% (в осадках полярных районов $O^{18}/O^{16} = 0,1887$ ат.%, для растворенного в воде океанов кислорода $O^{18}/O^{16} = 0,2083$ ат.%).

Как видно из приведенных в таблице 5 данных, пределы колебания концентрации дейтерия на порядок и более превосходят пределы колебания в содержании тяжелого кислорода. Объясняется это тем, что дейтерий и протий разделяются природными процессами более эффективно, чем любая другая пара стабильных изотопов в силу большей разницы в атомных весах (таблица 5).

Таблица 5. Пределы изменения концентраций стабильных изотопов некоторых элементов в природных объектах

Элемент	Отношение изотопов	Пределы изменения абс. величины	Относительное изменение предельных величин, %
H	D/H	0.000079-0.000195	147
Li	Li^6/Li^7	0.079-0.084	6
B	B^{10}/B^{11}	0.226-0.234	3.5
C	C^{13}/C^{12}	0.0107-0.0113	7
O	O^{18}/O^{16}	0.001887-0.002083	10
Si	Si^{30}/Si^{28}	0.0332-0.0342	3
S	S^{34}/S^{32}	0.0432-0.0472	9

Существует много методов определения содержания дейтерия в воде, каждый из которых основан на каком-либо различии свойств легкой и тяжелой воды или водорода и дейтерия. Благодаря относительно большому различию в массах D и H все изотопные эффекты выражены для водорода значительно сильнее, чем для изотопов других элементов, поэтому заметное различие легкой и тяжелой воды проявляется в очень многих физических и химических свойствах. Общим недостатком для большинства известных методов является необходимость очистки анализируемой воды, так как наличие примесей приводит к неконтролируемым изменениям параметров (плотность, температура кипения, вязкость, диэлектрическая проницаемость и т. д.), подлежащих измерению.

Во всех случаях измерений требуется точное измерение содержания дейтерия в широком диапазоне концентраций.

В естественной воде в среднем отношение $D/H = 1/6800$, так что в 1 см^3 естественной воды содержится $4.2 \cdot 10^{18}$ атомов дейтерия.

Таким образом, концентрация, представляющая интерес для исследователей, — это концентрация дейтерия ниже, чем $4.2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Существенно более высокие концентрации дейтерия (порядка 10^{20} в см^{-3} и выше) определяются относительно просто (например, методом ЯМР).

Не менее важная задача точного определения дейтерия в воде возникает при производстве тяжелой воды для целей энергетики и, особенно, для получения чистой D_2O , используемой в дальнейшем для производства дейтерированных соединений и как растворителя в исследованиях ЯМР. В этих случаях требуется определять высокие значения концентрации дейтерия или малые концентрации легкого изотопа водорода, играющего роль примеси.

В. З. Дранкин и соавторы [9] для определения высоких концентраций дейтерия провели обширные исследования по разработке и совершенствованию метода определения содержания дейтерия в воде с использованием реакции фотопереноса электрона с позиций повышения точности такого определения.

Существо метода состоит в следующем. Если в воду, содержание дейтерия в которой представляет интерес, ввести кислоту и фотодонор электрона, полученный раствор заморозить до 77 К и затем облучить его УФ-излучением, то вследствие фотопереноса электрона от фотодонора к ионам H^+ и D^+ образуются атомарные протий и дейтерий, стабильные при 77 К.

Эти атомы имеют характерные различные спектры ЭПР, по интенсивности которых можно судить о содержании легкого и тяжелого водорода в исследуемом растворе.

Большая разница в интенсивности линий ЭПР дейтерия и протия (например, в природной воде или в тяжелой воде) не препятствует их раздельному наблюдению, так как расщепление между линиями намного больше ширины линий.

4. Заключение

Ежесекундно в наших клетках совершаются десятки тысяч биохимических реакций, в которых участвуют молекулы воды H_2O . По молекулам воды и их водородным связям переносятся потоки протонов и электронов, обеспечивающих окислительно-восстановительные процессы, составляющие основу жизни. Матрицей жизни назвал воду лауреат Нобелевской премии А. Сцент-Дьерди. Жизнь без воды во Вселенной не обнаружена. Аквабиотика только приоткрыла небольшой край покрывала, скрывающего роль воды в биохимических процессах. Она открыла фундаментальный биохимический закон: вода представляет собой систему водно-структурной регуляции, на базе которой строятся другие управляющие, регуляторные и адаптационные системы (подробнее о них в моей статье в этом журнале за 2003, №2, с.12–26).

Разнообразный изотопный состав воды, неодинаковое действие изотопных фракций воды на организм и многие другие причины обусловили необходимость выделить из аквабиотики изотопику воды. Как у только что рождающейся отрасли знаний у ней много нерешенных проблем. Не ясно, например, какие изотопные разновидности воды входят в клетку, в каких биохимических реакциях они участвуют, как изменяются, какие разновидности молекул выходят из клетки. Хотя известно несколько технологий получения легкой и тяжелой воды (электролизная, испарительно-конденсационная, криобиологическая и т. д.), но методы получения воды большинства фракций не разработаны.

Кроме теоретического значения изотопики воды имеет огромное практическое значение. В космосе в организме человека меняется изотопный состав всех элементов, в том числе воды, теряется легкая вода, накапливается тяжелая со всеми отрицательными последствиями. Над этой проблемой работает отдел жизнеобеспечения жизнедеятельности космонавтов Института медико-биологических проблем РАН во главе с профессором Ю. Е. Синяком.

Ю. Е. Синяк направляет усилия своего отдела в Институте медико-биологических проблем РАН на разработку систем водообеспечения космических кораблей и орбитальных станций (начиная с «Салют-4» до «Мир»). Проблемой изотопного состава воды отдел занимается с 1994 года. Разработав свой вариант электролизного метода получения протиевой (бездейтериевой) воды (1995), Ю. Е. Синяк и сотрудники получают легкую воду для экспериментальных целей и проводят систематические исследования ее влияния на растениях и животных.

Показано, что электролизная вода с пониженным на 60% содержанием дейтерия благоприятно действует на организм высших растений (пшеница — в 2-3 раза увеличилось количество семян в колоске) и птиц (японский перепел — увеличение сперматогенеза, яйценоскости, скорости роста гонад). Это, очевидно, связано с торможением дейтерием репликации ДНК. Установлено, что D_2O высокотоксична для млекопитающих, а O^{18} примерно равен по токсичности дейтерию. Тяжелые изотопы вредны для человека. Эксперименты на разных группах животных показали, что дейтерий с жизнью несовместим.

Сейчас главной проблемой, над которой работает отдел, является разработка оптимального изотопного состава среды обитания космонавтов. Особенно это важно для дальнейших полетов на Марс (если космонавты не будут обеспечены «легкой» водой, то такие длительные полеты будут невозможны). Ближайшая задача научной работы отдела — получение орто-парамодифицированной воды (разработка метода получения такой воды, изучение ее свойств на животных и растениях).

У нас, в США, во многих других странах накапливается опыт акватерапии различных заболеваний — от гипертонии до рака. В акватерапии изотопике воды также принадлежит выдающаяся роль. Космонавтике, медицине, сельскому хозяйству и многим другим отраслям человеческой деятельности без изотопики воды не обойтись.

Л и т е р а т у р а :

1. Бердышев Г. Д., Варнавский И. Н., Прилипенко В. Д. Аквабиотика — наука о роли воды в жизненных процессах. // В кн.: Информоэнергетика III-го тысячелетия: социолого-синергетичні та медично-екологічні підходи. — Київ—Кривий Ріг: ЗАТ “ЗТНВФ “Коло”, 2003. — С. 22–28.
2. Бердышев Г. Д., Корочкин Л. И., Таранов С. Н., Михтарьянц Э. А. Влияние гистонов на структуры фибробластов куриных зародышей. // В кн.: Материалы теоретической и клинической медицины. — Томск: из-во ТГУ, 1964, в.3. — С. 44–45.
3. Варнавський І. М., Пономарьов В. О., Шестаков В. І., Курик М. А., Бердишев Г. Д., Конєв Ф. А., Чернилевський В. Й., Варнавський Г. І. Установка ВІМ-7 “Надія” для одержання цілющої питної води зі

- зниженням вмістом дейтерію та тритію “Реліктова вода” від 25.12.1997 р. Патент України № 20185 від 08.10.1997 р. // Бюлетень изобр. и откр. Украины. — 1997. — № 6.
4. Варнавский И. Н., Бердышев Г. Д., Прилипенко В. Д. Целебная реликтовая вода — открытие третьего тысячелетия. // Вопросы химии и химической технологии. — 2002. — № 5. — С. 168–174.
 5. Варнавский И. Н., Бердышев Г. Д., Прилипенко В. Д. Теория целебной питьевой воды. // В кн.: Информоенергетика III-го тысячелетия: социолого-синергетичні та медично-екологічні підходи. — Київ—Кривий Ріг: ЗАТ “ЗТНВФ “Коло”, 2003. — С. 175–179.
 6. Веселова М. В., Соколова И. Д. Производство тяжелой воды за рубежом. (Аналитический обзор). — М., 1977. — 41 с.
 7. Головенченко И., Друзяк Н. Вода долголетия. // Природа и человек. — 1992. — № 2. — С. 102–104.
 8. Денько Е. И. Влияние тяжелой воды D₂O на клетки животных, растений и микроорганизмы. // Успехи совр. биол. — 1970. — т. 20. — № 1 (4). — С. 41–85.
 9. Дранкин В. З., Мамыкин А. И., Сердюк А. С., Уряева Н. И. Медико-аппаратные вопросы повышения точности измерения содержания дейтерия в воде с использованием реакции фотопереноса электрона и метода ЭПР. // Известия ЛЭГИ. — 1975. — Вып. 167. — С. 105–107.
 10. Киршенбаум Н. Тяжелая вода. — М.: ИЛ. 1953. — 245 с.
 11. Лобышев В. Н., Калиниченко Л. П. Изотопные эффекты D₂O в биологических системах. — М.: Наука, 1978. — 215 с.
 12. Меркулов А. Самая удивительная на свете жидкость. — М.: Сов. Россия. 1978. — 280 с.
 13. Мухачев В. М. «Живая вода». — М.: Наука, 1975. — 142 с.
 14. Родимов Б. Н. Снеговая вода — стимулятор роста и продуктивности животных и растений. // Сельское хозяйство Сибири. — 1961. — № 7. — С. 66–69.
 15. Родимов Б. Н., Маришнина А. Н., Яфарова Н. Н. Действие снеговой воды на живые организмы. // Сельскохозяйственное производство Сибири и Дальнего Востока. — 1965. — № 4. — С. 56–57.
 16. Фиалков Ю. А. Необычные свойства обычных растворов. — М.: Педагогика, 1978. — С. 182.
 17. Фюрон Р. Проблемы воды на земном шаре. — Л.: Гидрометиздат, 1966. — 173 с.
 18. Шемля М., Перье Ж. Разделение изотопов. — М.: Атомиздат, 1980. — 168 с.
 19. Alvarez L. W., Cornog R. Helium and Hydrogen of mass 3. Phys. Rev. 1939, v. 56, N 2, p. 623–628.
 20. Varnavsky I. N., Berdishev G. D., Ponomarev V. A. The concept of converting technology of the lifeless water of life. In: Second's International Congress “Water: ecology and technology”. Ecwatech-96. Abstracts. Moscow, 1996, p. 391–392.
 21. Streliaev V. Aqua potavel atual e Morbidogena e homicida. Brasilia, 1967, — 39 p.

Статья поступила в редакцию 05.04.2005 г.

G. D. Berdyshev

Water isotopics: history, modern aspects, prospects, alternative problems

In the present article it is described the Aquabiotics — the science about the role of the water in the life phenomena and its section — Water Isotopics. Both sciences are founded and developed by the author and describe the history, modern aspects, prospects and unsolved problems of Water Isotopics.

Key words: deuterium, tritium, water, damaging action, therapeutic effect.